



研究ノート

## 地球内部におけるマグマの分布

佐藤 博 樹\*

### Partial Melt Zones in the Earth's Upper Mantle

**Key Words** : Magma, Seismic tomography, Seismic activity, Temperature distribution, Northeastern Japan

#### 1. はじめに

医学の分野で人体内部の3次元像を映し出すCT(computerized tomography)という手法がある。それにならって、地球内部を伝わる地震波を観測し、地球の3次元構造を求める手法を地震波トモグラフィーという。この手法による地球内部構造の詳細な研究は、1980年代半ばからさかんに行われるようになった。その背景には、多くの地震計が世界各地に設置されるようになったこと、および、地震波データ解析手法の発展がある。ここでは東北日本下の地殻および上部マントルを例としてとりあげ、地震波トモグラフィーから推定される地球内部の地震波速度構造、ならびにマグマの分布状態について紹介する。

#### 2. マグマの分布と地震活動

実験室内で地球内部の高温高圧力状態を再現し、上部マントルを構成する岩石の弾性波速度を、温度と圧力(圧力は地球内部の深さに対応する)の関数として決定する。その結果を、地

震波トモグラフィーによって求められた上部マントルの速度構造と比べ、地球内部の温度分布を見積る<sup>1)2)</sup>。温度の上昇は岩石中に部分熔融、すなわちマグマを生じさせるので、地球上でおこる火成活動を理解する上で、温度構造を知ることが不可欠である。地震波トモグラフィーは、詳細な温度分布とマグマの分布を調べるためにも大変有力な手段である。

マグマが岩石中に発生しはじめる温度をソリダス温度といい、上部マントル岩石については、例えば40km, 90kmの深さでそれぞれ1230℃, 1420℃である<sup>3)</sup>。実験室内の測定で岩石試料中に部分熔融を生じさせ、弾性波速度の測定を行っているので、その結果とあわせ、上部マントルにおけるマグマの分布状態を見積ることができる。このようにして、地震波トモグラフィー<sup>4)</sup>と実験室の測定結果から、東北日本下上部マントルにおける低速度領域とマグマの分布を調べた結果を図1と図2に示す。

これらの図にはまた、長谷川ら<sup>5)</sup>による低周波微小地震の震源と地殻内S波反射面の位置、および1931年以降に発生したマグニチュード6以上の内陸被害地震の震源も示した。これらの図の3次元カラー表示はパソコンでも作成可能であるが、色刷りのものはここでは割愛させていただいた。図1と図2に共通していえることは、上部マントル部分熔融域と低周波微小地震、S波反射面および火山との空間的な対応が非常に良いことである。このような対応関係は、図に示されていない他の東北日本地域の鉛直断面についても同様に成立する。図中に模式的に

\* Hiroki SATO  
1953年11月23日生  
1978年東京大学理学部地球物理学科卒業  
現在、大阪大学理学部宇宙地球科学科、助教授、理学博士、地球内部物理学  
TEL 06-850-6111  
FAX 06-850-5541  
E-Mail roki@ess.sci.osaka-u.ac.jp



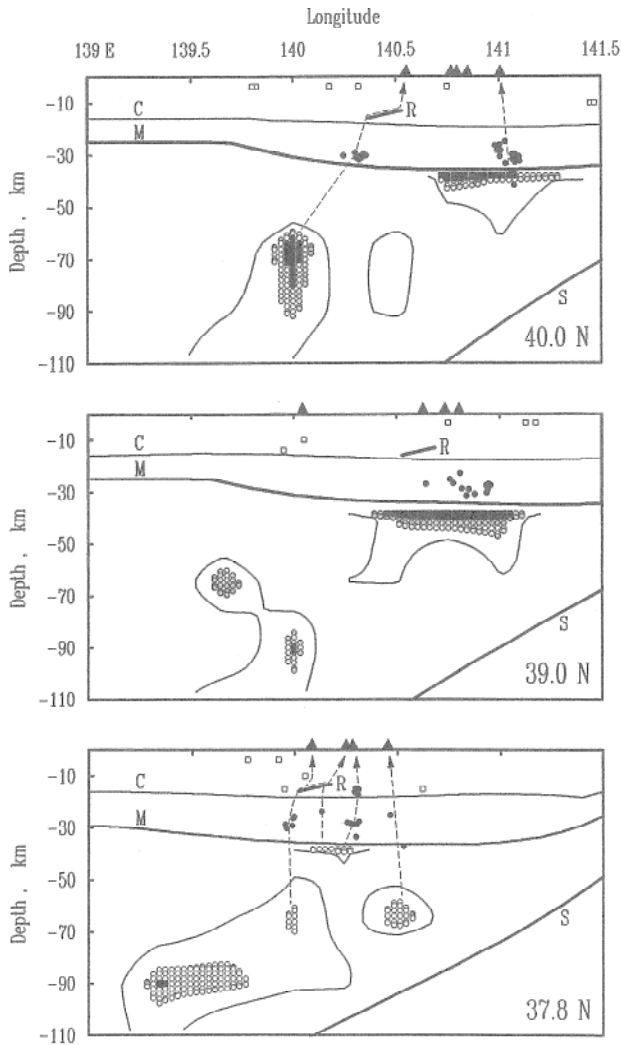


図1 東北日本上部マントルの部分熔融域と地震活動の緯度 37.8N, 39N, 40N における鉛直断面図 (R: 地殻内S波反射面, C: コンラッド面, M: モホ面, S: スラブ上面, 黒三角: 火山, 白四角: 内陸被害地震の震源, 黒丸: 低周波微小地震の震源, 丸と四角のハッチ: 1~2%と2~3%の部分熔融域, 実線の内部: 3~6%低速度の領域, 矢印: 推定されるマグマの上昇経路). 火山, 低周波微小地震及びS波反射面の下方の上部マントル低速度領域に, 部分熔融(マグマ)が認められる.

矢印(点線)で示したようなマグマの移動に伴って低周波微小地震が発生し, また反射面が形成されていると考えられないだろうか. さらに, 内陸被害地震の震源も火山および熔融域とその周辺に分布している. マグマの移動や貫入による地殻内応力の変化, あるいは火山周辺部における応力集中などが, 内陸地震の発生に寄与するものと考えられる.

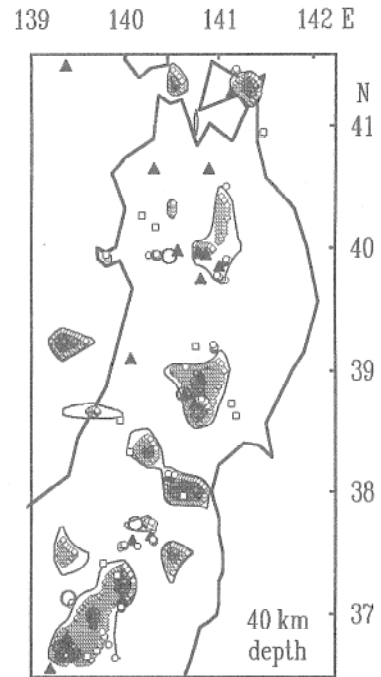


図2 東北日本上部マントルの部分熔融域と地震活動の深さ40kmにおける水平断面図(円形: 地殻内S波反射面の位置, 黒三角: 火山, 白四角: 内陸被害地震の震央, 白丸: 低周波微小地震の震央, ハッチ: 1~3%の部分熔融域, 実線の内部: 3~6%低速度の領域).

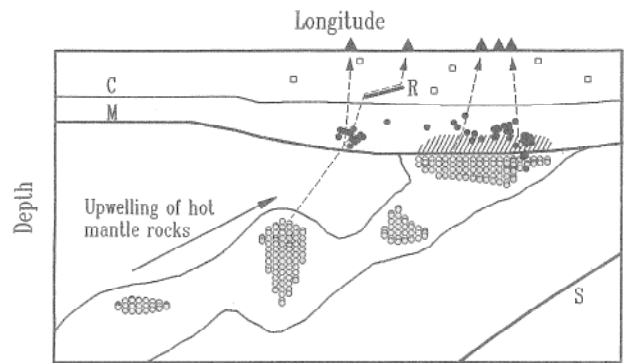


図3 東北日本におけるマグマの上昇経路(記号の説明は図1参照, 斜線部は下部地殻の熔融).

### 3. マグマの上昇経路

今回の熔融域のマッピング結果, および低周波微小地震と地殻内反射面との対応関係から, 東北日本におけるマグマの発生とその上昇経路について以下のようにまとめられる(図3参照). マントル深部からの上昇流の中に, 約110km以浅で減圧により部分熔融が生ずる. 数十kmサイズの独立した熔融塊が上昇流の中に形成され, モホ面直下まで上昇する. 上昇の途中で一

部のマグマは溶融塊から分離し、日本海側の火成活動を引き起こしたであろう。モホ面に停滞した部分溶融塊の熱によって、一部の下部地殻物質は融解し、変成作用をうける。溶融塊からマグマが分離し、低周波微小地震を引き起こしながら延性的な (ductile) 下部地殻内を上昇してゆく。さらに脆性的な (brittle) 上部地殻の割れ目 (断層面) を押し開き、また新たなクラックを作りながら地殻内反射面を形成し、さらに浅部では開いたクラックや結晶粒界を伝わって、マグマ溜り内へと集積してゆく。脆性的な上部地殻におけるマグマの移動はまた、地殻内の応力状態を変化させ、内陸地震 (被害地震も含め) の発生にも寄与すると思われる。モホ面直下の溶融塊からの連続的なマグマの供給により、その一部は地表へ噴出して火山を形成し、残りの部分は地下で固結し、島孤の地殻を形成すると考えられる。

東北日本の火成活動は、マントル深部からの高温物質の上昇 (volcanic plume) によって引き起こされている。火山のマグマの供給源は高温の上昇流の中に局在する部分溶融塊であり、特に火山フロント下の最上部マントルで溶融域が最も広範囲にわたり、溶融量も多い。火山フロントにおける広範囲にわたる火成活動は、この最上部マントルの溶融域によるものである。マントルの平均的な温度は40kmの深さで約1000℃、90kmの深さで約1200℃である。溶融域はこれらの温度よりも200~300℃高温であり、40km、65km、90kmの深さでそれぞれ約1270℃、1360℃、1460℃である<sup>2)</sup>。この溶融

域のもつ熱によって、それに隣接する下部地殻の融解が進行し、珪長質マグマが生成される可能性がある。地殻物質は下部地殻の溶融によっても形成されるであろう。今回明らかになった局在する部分溶融塊の存在は、島孤の火山が有限の寿命 (数十万年) をもつことと調和的である。また溶融域は日本海側で深くなっており、これが東北日本の横断面に沿う、火山岩の化学組成変化を引き起こす一つの要因であると考えられる。

## 謝 辞

本稿に執筆の機会を与えて下さいました大阪大学理学部の池谷元何教授に感謝申し上げます。また本研究を遂行するにあたって、東北大学理学部の長谷川昭教授にお世話になりました。あわせて感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) Sato, H., I. S. Sacks and T. Murase, *J. Geophys. Res.*, **94**, 5689-5704 (1989).
- 2) 佐藤博樹, 地震2, **48**, 139-149 (1995).
- 3) Takahashi, E., *J. Geophys. Res.*, **91**, 9367-9382 (1986).
- 4) Zhao, D., A. Hasegawa and S. Horiuchi, *J. Geophys. Res.*, **97**, 19909-19928 (1992).
- 5) Hasegawa, A., A. Yamamoto, D. Zhao, S. Hori and S. Horiuchi, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A342**, 167-178 (1993).

